

施用牛粪对沿海泥质滩涂土壤原始肥力驱动及黑麦草幼苗生长的影响

左文刚, 黄顾林, 朱晓雯, 陈亚斯, 沈袁玲, 陶天云, 柏彦超, 单玉华*, 封克
(扬州大学环境科学与工程学院, 江苏省有机固体废物资源化协同创新中心, 江苏扬州 225009)

摘要: 【目的】沿海滩涂土壤属于滨海盐土类型, 由于长期受海洋潮汐的影响, 盐渍化作用导致土壤盐分含量偏高、土体发育不明显、理化性状差、肥力水平低下, 且滩涂面积还在以一定的速度增长, 同时可耕地面积的逐年递减和淡水资源的日益匮乏, 滩涂盐土的开发利用越来越受到人们的关注。本文研究牛粪不同用量驱动新围垦滩涂土壤原始肥力并为绿肥植物黑麦草幼苗生长提供养分的作用, 以期对滩涂盐土的改良提供一条可行的途径。【方法】采用田间小区随机区组试验, 探讨了牛粪不同施用量(0、30、75、150、300 t/hm²)对滩涂土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体、盐分、pH、有机碳、氮磷养分含量等肥力因子及黑麦草幼苗生物量、生长状况的影响。【结果】滩涂 0—10 和 10—20 cm 土层土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体的数量随牛粪施用量的增加呈逐渐增加趋势。与对照相比, 牛粪用量 150 和 300 t/hm² 处理的滩涂 0—10 和 10—20 cm 土层土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体差异均达到显著水平; 施用牛粪各处理滩涂土壤有机碳分别比对照增加 17.4%、32.6%、55.0%、205.8%; 与对照相比, 施用牛粪各处理显著降低了滩涂土壤盐分含量, 降幅分别达 25.2%、75.8%、76.0%、75.9%; 施用牛粪对滩涂土壤 pH 值降低不明显; 随牛粪施用量的增加, 滩涂土壤全氮、全磷、碱解氮、有效磷含量均呈逐渐上升趋势; 施用牛粪增加了黑麦草幼苗地上部和根系干重; 施用牛粪各处理黑麦草幼苗株高分别比对照增加 52.6%、46.1%、74.2%、56.2% ($P < 0.05$); 牛粪施用量达 150 t/hm² 时可显著增加黑麦草幼苗的分蘖数; 随牛粪施用量的增加, 黑麦草根系总根长、平均直径、根表面积、根体积均呈逐渐上升趋势。【结论】施用牛粪改善了滩涂土壤的初始肥力特性, 促进了绿肥植物黑麦草地上部及根系的生长, 并提高了黑麦草幼苗的生物量, 因此, 牛粪可作为改良新围垦滩涂土壤的“原始肥力驱动剂”。利用牛粪进行滩涂土壤的改良还有效地处理了畜禽粪便, 是滩涂土壤改良和畜禽粪便合理利用一举两得的新途径。

关键词: 滩涂土壤; 牛粪; 原始肥力驱动; 绿肥; 黑麦草

中图分类号: S516.4⁺2; S141.4

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2016)02-0372-08

Motivating effect of different dairy manure addition on soil initial fertility formation and ryegrass growth in coastal mudflat soil

ZUO Wen-gang, HUANG Gu-lin, ZHU Xiao-wen, CHEN Ya-si, SHEN Yuan-ling, TAO Tian-yun, BAI Yan-chao, SHAN Yu-hua*, FENG Ke

(Institute of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University/Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: 【Objectives】Coastal mudflats belong to the seashore saline soil family and are characterized by high salinity, low degree of development, inferior structure and low fertility. The increasing mudflats can act as an important land reservoir to mitigate the shrinking of agricultural land. Exploitation and amendment of mudflats have been widely concerned. This experiment was conducted to investigate short-term effects of dairy manure application (DMA) on initial fertility motivation and green manure plant ryegrass growth in a newly-reclaimed mudflat.

收稿日期: 2014-07-22 接受日期: 2014-12-03 网络出版日期: 2015-07-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(31101604); 江苏省高校自然科学基金(12KJB210008); 土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放课题(Y412201402); 住房和城乡建设部科技项目(2014-K6-009)资助。

作者简介: 左文刚(1989—), 男, 江苏淮安人, 硕士研究生, 主要从事滩涂土壤改良方向的研究。

Tel: 0514-87979645, E-mail: zuowengang1989@163.com。* 通信作者 Tel: 0514-87979645, E-mail: shanyuhua@gmail.com

【Methods】 Using ryegrass as an indicator plant, a field experiment of complete randomized block (RCB) design with three replicates was carried out in a newly reclaimed mudflat. Five rates of dairy manure (0, 30, 75, 150 and 300 t/hm²) were designed. Soil and ryegrass were sampled 60 days after the sowing, salinity the soil pH and the contents of water stable aggregate in different sizes, and organic carbon, the contents of N and P in mudflat soil and ryegrass biomass were measured. **【Results】** The contents of water stable aggregate > 0.25 mm in 0–10 cm and 10–20 cm layers of mudflat were increased with the increase of manure addition, and the increments were significant in the treatments of 150 and 300 t/hm², compared with the control. With the manure addition of 30, 75, 150 and 300 t/hm², the organic carbon were increased by 17.4%, 32.6%, 55.0% and 205.8%, respectively, the salinity decreased by 25.2%, 75.8%, 76.0%, 75.9%, the pH was not decreased significantly. With the increase of dairy manure addition, the soil total nitrogen, total phosphorus, alkali-hydrolyzable nitrogen and available phosphorus were increased as well. Both the dry weights of aboveground and root part of ryegrass were enhanced with the increased amount of manure, and the increments in ryegrass height were 52.6%, 46.1%, 74.2% and 56.2% at the DMA rates of 30, 75, 150 and 300 t/hm², respectively. The root length, root average diameter, root surface area and root volume of ryegrass were increased in the same trends. **【Conclusions】** Based on the results of this study, addition of dairy manure could improve the soil ventilation, decrease soil pH and improve the nutrient contents, so can be used as the fertility motivator in soils like coastal mudflat. As the use of dairy manure also provides an ecologically sound way of the disposal of dairy farm wastes, this results is prospective in the amelioration of coastal mudflat.

Key words: mudflat soil; dairy manure; initial fertility motivator; green manure; ryegrass

随着中国人口的增长和工矿、交通、城市建设用地的不断增加,有限的耕地资源不断减少,人地矛盾空前严峻^[1]。为扭转耕地持续大幅减少的局面,守住 18 亿亩耕地红线,1996 年中国就开始实施“耕地占补平衡”战略,并在 1998 年修订后的《中华人民共和国土地管理法》中明确提出“实行占用耕地补偿制度”。在其他耕地补充途径难度日益加剧的同时,中国东部沿海每年却可以形成约 2 万 hm² 的淤泥质滩涂,改造后可为全国特别是沿海省份的长期发展提供最实际的耕地后备资源。近年来,滩涂围垦作为实现“耕地占补平衡”的有效手段得到了迅速发展,我国通过滩涂围垦新增了约 120 万 hm² 土地^[2]。随着围垦技术的不断成熟,围垦面积、规模、进度有逐渐扩大、加快的趋势。按照目前中国《江苏沿海地区发展规划》的战略要求,2009~2020 年将再围垦 18 万公顷土地。

滩涂土壤盐分含量高,返盐严重,且肥力水平低下。沿海滩涂土壤属于特殊原始土壤,最显著的特征就是盐分含量偏高^[3],土壤盐分含量小于 5‰ 作物才能生长。在降水的下渗和强烈的地下水蒸发作用下,土壤水分和盐分的运动非常活跃^[4]。在降水较少的季节,土壤水分的蒸发量大于下渗量,滩涂土壤下层盐分随土壤水分的蒸发向上运动于表层积聚,导致土壤返盐。因此用于农业生产的滩涂土壤

围垦后第一步必须“降盐”。沿海滩涂特殊原始土壤由于围垦时间短暂、土壤层次发育不全、耕作层次尚未形成,所以滩涂土壤养分种类少、含量低、供应能力差,结构差,保水通气性差,微生物区系、组成单一,有机质含量极低^[3]。研究表明,滩涂土壤有机质及氮、磷养分含量偏低,考虑到滨海滩涂区域多为砂质土壤,养分易流失,保肥供肥性能较差,需加强土壤培肥以提高有机质含量^[5-7]。有机质通过改善土壤的理化性状,改变土壤盐分运动状况,促进土壤脱盐,抑制土壤返盐,中和土壤碱度,从而减轻盐分对作物的危害,提高作物产量,达到改良滩涂土壤的目的。增施有机质可改善土壤物理性状,提高土壤的保蓄性和缓冲性^[8]。土壤有机质与土壤养分含量的增加有密切的联系^[9]。增施有机质可为土壤微生物活动提供丰富的碳源,促进微生物的活动^[10]。

随着奶牛养殖业的快速发展,牛粪污染已成为重要议题。牛粪质地细密,含大量有机质和氮磷养分,含水较多,发热量低,属迟效性肥料^[11]。因而,对牛粪进行资源化利用变废为宝十分重要。前人一般应用牛粪做原料生产有机肥,或直接施用于农田中。然而,迄今为止国内外学者对利用牛粪改良滩涂土壤的应用效果及作用机理尚未见报道。本研究采用牛粪作为“原始肥力驱动剂”,

通过一次性大量施用,使原本几乎没有肥力的滩涂土壤具备生长绿肥植物黑麦草的原始肥力,从而可以激发滩涂黑麦草地上部生物量的积累,黑麦草植株经原地还田腐解,再次种植其它绿肥植物,如此循环,可迅速提升滩涂土壤有机质的循环式自积累过程,从而实现低投入下滩涂土壤的快速改良,以期牛粪的资源化利用和沿海滩涂土壤的快速熟化提供科学依据和理论指导,为增加我国农业耕地后备资源提供保证。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验于 2011 年 10~12 月,在江苏省如东县兆盈垦区试验田(E121°23'23",N 32°20'03")进行。该试验区是处于长江口北岸的新围垦第 3 年滩涂,属淤涨型的淤泥质海岸,滨海相地貌,地势平坦,地面高程 3.00 m;属亚热带湿润季风气候,具有明显的过渡性海洋性和季风性,四季分明,降水量主要集中在 6~8 月份。试验期间试验区总降雨量为 100.9 mm,平均温度为 12.5℃。试验区浅层土层中地下水均为第四系孔隙潜水类型,层状分布,平均埋深 0.8 m 左右,主要补给来源为地表水及大气降水。

1.2 试验材料

试验区滩涂土壤属砂质壤土,滨海盐土类型,其 pH 为 9.02,有机质 3.43 g/kg,全氮、全磷含量分别为 0.282、0.507 g/kg,碱解氮、有效磷含量分别为 17.8、6.99 mg/kg。供试牛粪于 2011 年 8 月取自如东县奶牛养殖场,其含水量为 75.0%,pH 为 7.74,有机质 415.7 g/kg,全氮、全磷含量分别为 32.3、5.31 g/kg。

1.3 试验设计

采用田间随机区组试验,各小区面积均为 16 m²(4.0 m × 4.0 m)。试验按干基牛粪施用量设 5 个处理,分别为 0、30、75、150、300 t/hm²,各处理重复 3 次。2011 年 10 月 20 日将牛粪施入各小区,并利用旋耕机将牛粪与 0—20 cm 耕层土壤拌匀,2011 年 10 月 25 日,每小区播入 35 g 黑麦草种子。试验期间,未施用其它肥料和开展其它农艺措施。于 2011 年 12 月 26 日(播种后 60 天)采集土壤和黑麦草幼苗样品,进行测定和分析。

1.4 测定方法

牛粪原料有机质、pH 及养分含量的测定参照

文献[12]。采集的土壤样品经自然风干并去除肉眼所见牛粪等杂物后过 0.83 mm 和 0.15 mm 筛。采用湿筛法测定土壤水稳性团聚体。土壤 pH 采用无 CO₂ 蒸馏水 1:5 的土水比,搅拌 2 min 并静置 30 min 后,用 pH 计测定^[12]。土壤水溶性总盐采用残渣烘干-质量法,有机碳采用重铬酸钾外加热法,全氮采用半微量凯氏法,全磷采用 H₂SO₄-HClO₄ 消煮法,碱解氮采用碱解扩散法,有效磷采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定^[12]。各小区采集黑麦草幼苗 40 株,清洗后用吸水纸吸干,称鲜重,采用 Regent RHIZO 根系分析系统观测根系形态情况。在通风干燥箱中 105℃ 杀青 15 min,再于 80℃ 条件下烘干至恒重,称重。

试验数据采用 Microsoft Excel (2010) 和 SPSS 13.0 统计软件进行统计分析,LSD 法检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 牛粪对滩涂土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体的影响

表 1 表明,随牛粪施用量的增加,滩涂土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体的数量呈逐渐增加的趋势。未施用牛粪的对照处理 0—10、10—20 cm 土层滩涂土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体的数量分别为 3.64%、3.01%,施用牛粪的各处理(30、75、150、300 t/hm²) 0—10 cm 土层滩涂土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体的数量分别比对照增加 20.1%、62.6%、144.8%、307.4%,其中牛粪施用量达 150 t/hm² 处理的滩涂土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体数量显著高于对照土壤;施用牛粪的各处理 10—20 cm 土层滩涂土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体的数量分别为 2.78%、2.71%、5.85%、8.32%,其中牛粪施用量为 300 t/hm² 处理的滩涂土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体显著高于对照处理。

2.2 牛粪对滩涂土壤盐分、pH 及有机碳含量的影响

随牛粪施用量的增加,滩涂土壤盐分呈逐渐下降趋势(图 1)。未施牛粪的对照土壤盐分含量为 20.29 g/kg,施用牛粪各处理(30、75、150、300 t/hm²) 土壤盐分含量分别为 15.17、4.92、4.87、4.88 g/kg,比对照分别显著降低 25.2%、75.8%、76.0%、75.9%。

表 1 施用牛粪滩涂土壤不同粒径团聚体组成 (%)

Table 1 Contents of different sizes of soil aggregate in mudflat affected by dairy manure addition

土层 (cm) Soil depth	颗粒 (mm) Particle size	牛粪施用量 Dairy manure rate (t/hm ²)				
		0	30	75	150	300
0—10	>0.25	3.64 ± 0.93 c	4.37 ± 2.45 c	5.92 ± 2.18 bc	8.91 ± 1.15 b	14.83 ± 2.25 a
	0.25 ~ 0.106	0.93 ± 0.16 c	1.95 ± 1.09 bc	1.29 ± 0.48 c	2.44 ± 0.45 ab	3.32 ± 0.16 a
	<0.106	95.43 ± 0.77 a	93.69 ± 5.54 ab	92.79 ± 2.66 ab	88.65 ± 1.59 b	81.85 ± 2.41 c
10—20	>0.25	3.01 ± 1.91 b	2.78 ± 0.54 b	2.71 ± 3.51 b	5.85 ± 4.00 ab	8.32 ± 3.12 a
	0.25 ~ 0.106	1.02 ± 0.16 b	0.70 ± 0.10 b	0.88 ± 0.41 b	1.06 ± 0.48 ab	2.62 ± 1.81 a
	<0.106	95.98 ± 3.07 ab	96.52 ± 0.64 a	96.41 ± 2.93 a	93.08 ± 4.48 ab	89.06 ± 5.93 b

注 (Note): 同行数据后不同字母表示不同处理间差异达到 5% 显著水平 Values followed by different letters in the same row are significantly different at the 5% level.

图 1 表明,未施牛粪的对照土壤 pH 为 9.11,施用牛粪各处理(30、75、150、300 t/hm²)土壤 pH 分别为 9.15、8.84、8.89、8.87。随牛粪施用量的增

加,滩涂土壤 pH 呈下降趋势,各处理间差异未达显著水平。

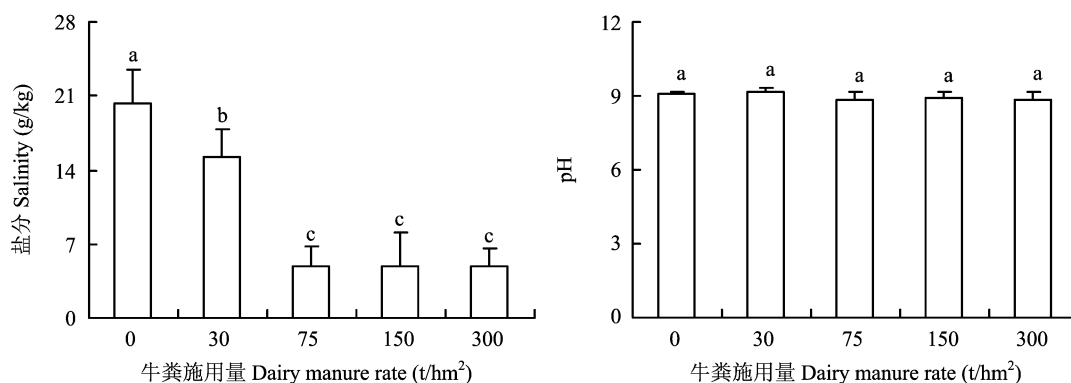


图 1 牛粪对滩涂土壤盐分、pH 的影响

Fig. 1 Effect of the dairy manure addition on soil salinity and pH of mudflat

[注 (Note): 柱上不同字母表示不同处理间差异达到 5% 显著水平 Different letters above the bars indicate significant differences at the 5% level.]

由图 2 可知,随牛粪施用量的增加,滩涂土壤有机碳含量呈上升趋势。未施牛粪的对照土壤有机碳含量为 2.58 g/kg。施用牛粪各处理(30、75、150、300 t/hm²)土壤有机碳含量分别为 3.03、3.42、4.00、7.89 g/kg,分别比对照增加 17.4%、32.6%、55.0%、205.8%,其中牛粪施用量达 300 t/hm² 处理的滩涂土壤有机碳含量显著高于其它各处理。

2.3 牛粪对滩涂土壤氮、磷养分含量的影响

随牛粪施用量的增加,滩涂土壤全氮、碱解氮含量呈逐渐上升趋势(图 3)。未施牛粪的对照土壤全氮、碱解氮含量分别为 297、19.38 mg/kg。施用牛粪各处理(30、75、150、300 t/hm²)滩涂土壤全氮含量分别达 420、774、1496、2498 mg/kg,分别比对照增加 41.4%、160.6%、403.7%、741.1%。施

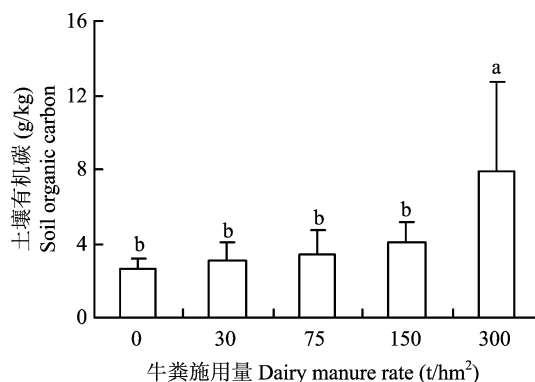


图 2 牛粪对滩涂土壤有机碳含量的影响

Fig. 2 Effect of the dairy manure addition on organic carbon in mudflat soil

[注 (Note): 柱上不同字母表示不同处理间差异达到 5% 显著水平 Different letters above the bars indicate significant differences at the 5% level.]

用牛粪各处理碱解氮含量分别为 22.74、32.95、72.95、99.68 mg/kg, 分别比对照增加 17.3%、70.0%、276.4%、414.3%。当牛粪施用量达 150

t/hm² 时, 滩涂土壤全氮、碱解氮含量均显著高于对照。施用牛粪各处理滩涂土壤全氮的增幅高于碱解氮的增幅。

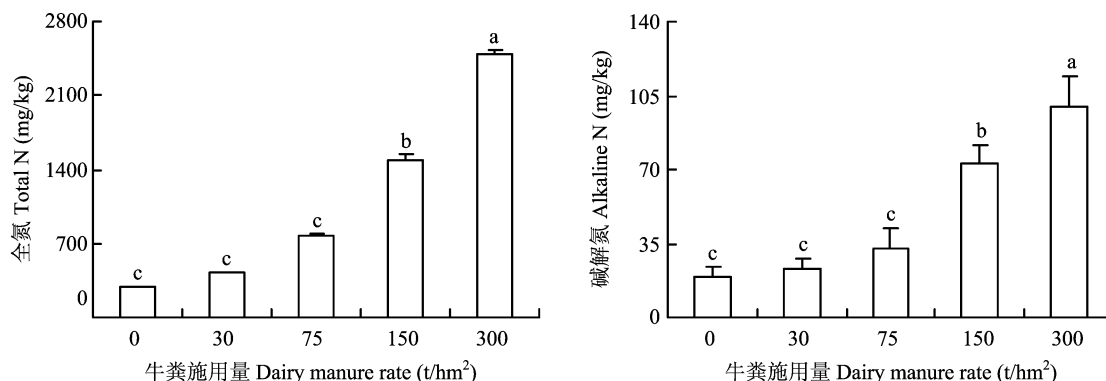


图3 施用牛粪对滩涂土壤全氮、碱解氮含量的影响

Fig. 3 Effect of the dairy manure addition on contents of total N and alkali-hydrolyzable N in mudflat soil

[注(Note): 柱上不同字母表示不同处理间差异达到5%显著水平 Different letters above the bars indicate significant differences at the 5% level.]

施用牛粪对滩涂土壤全磷、有效磷含量的影响见图4。随牛粪施用量的增加, 滩涂土壤全磷、有效磷含量均呈上升趋势。未施牛粪的对照土壤全磷、有效磷含量分别为 613、13.59 mg/kg。施用牛粪各处理(30、75、150、300 t/hm²) 土壤全磷含量分别达 614、667、717、930 mg/kg, 其中牛粪施用量达

300 t/hm² 时土壤全磷含量显著高于对照。施用牛粪各处理土壤有效磷含量分别比对照增加 72.1%、243.0%、333.3%、592.6%, 其中牛粪施用量为 75 t/hm² 处理的土壤有效磷含量显著高于对照。施用牛粪各处理滩涂土壤全磷含量的增幅低于有效磷的增幅。

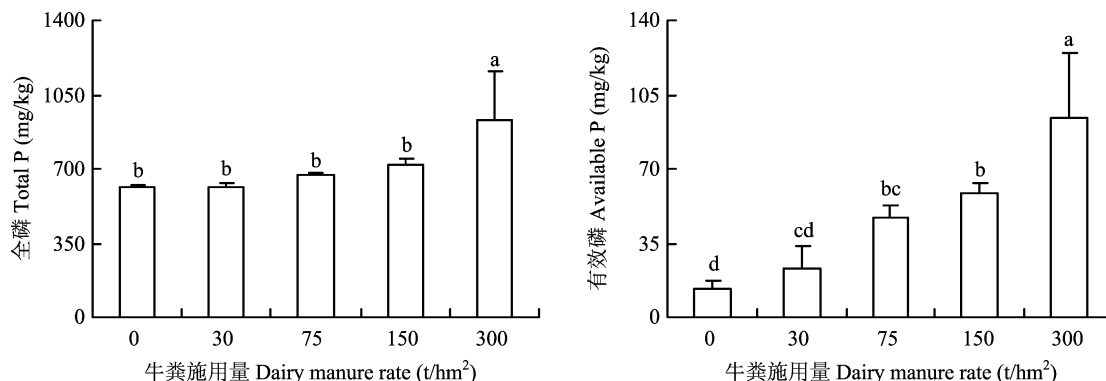


图4 施用牛粪对滩涂土壤全磷、有效磷含量的影响

Fig. 4 Effect of the dairy manure addition on contents of total P and available P in mudflat soil

[注(Note): 柱上不同字母表示不同处理间差异达到5%显著水平 Different letters above the bars indicate significant differences at the 5% level.]

2.4 牛粪对绿肥植物黑麦草幼苗生长的影响

2.4.1 牛粪对黑麦草幼苗生物量的影响 图5表明, 随牛粪施用量的增加, 黑麦草幼苗地上部、根系单株干重均呈逐渐上升趋势。未施牛粪的对照处理黑麦草地上部、根系干重分别为 0.035、0.010 g/plant, 施用牛粪各处理(30、75、150、300 t/hm²) 黑麦草幼苗地上部干重分别达 0.050、0.063、0.063、0.178 g/plant, 当牛粪用

量达 75 t/hm² 时显著高于对照; 各处理根系干重分别达 0.011、0.011、0.012、0.024 g/plant, 当牛粪用量达 300 t/hm² 时显著高于对照。

2.4.2 牛粪对黑麦草幼苗株高、分蘖的影响 随牛粪施用量的增加, 黑麦草幼苗株高呈逐渐上升趋势(图6)。未施牛粪的对照处理黑麦草幼苗株高为 11.61 cm, 施用牛粪各处理(30、75、150、300 t/hm²) 黑麦草幼苗株高分别增至 17.72、16.96、20.22、

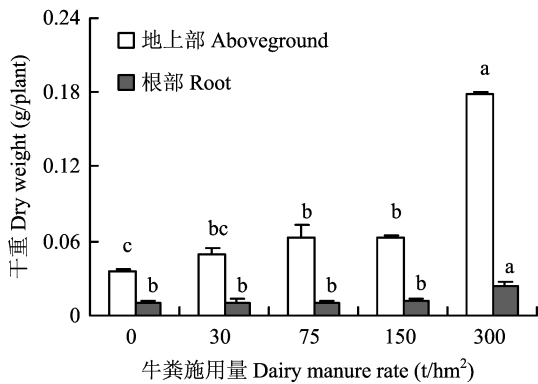


图5 施用牛粪对黑麦草幼苗生物量的影响
Fig.5 Effect of the dairy manure addition on biomass of ryegrass in mudflat soil

[注(Note): 柱上不同字母表示不同处理间差异达到5%显著水平 Different letters above the bars indicate significant differences at the 5% level.]

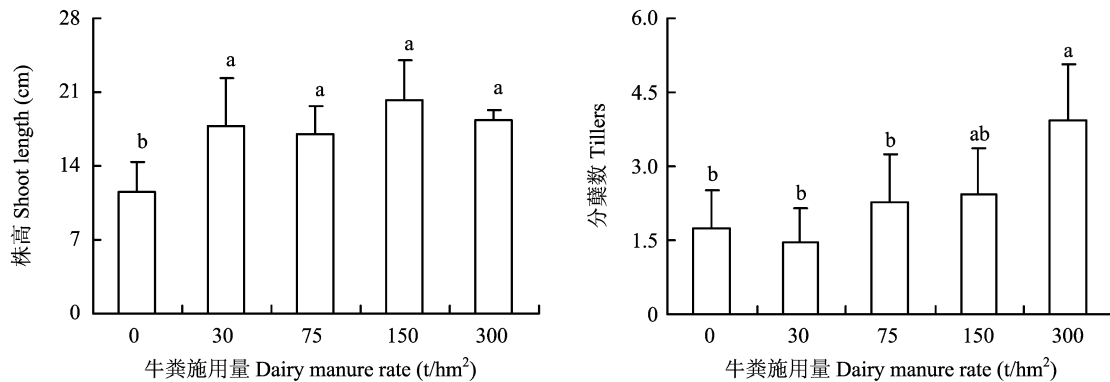


图6 施用牛粪对黑麦草幼苗株高、分蘖数的影响

Fig.6 Effect of the dairy manure addition on shoot length and tillers of ryegrass in mudflat soil

[注(Note): 柱上不同字母表示不同处理间差异达到5%显著水平 Different letters above the bars indicate significant differences at the 5% level.]

积、根体积分别为 7.09 cm^2 、 0.066 cm^3 ,当牛粪用量达 300 t/hm^2 时黑麦草根表面积和根体积均显著高于对照。

3 讨论与结论

有机质是土壤肥力形成的重要物质基础,以增加有机质为主导的“土壤培肥”,是滩涂土壤改良的关键环节。本研究证实,施用牛粪显著改善了滩涂土壤的初始肥力特性。前人的长期研究表明,施用畜禽粪便能显著促进碱化土壤大团聚体的形成,且随处理年限的增加,土壤有机碳和总氮的含量不断增加^[13]。史振鑫等人研究发现,施用牛粪提高了黑土土壤团聚体平均直径,降低了土壤团聚体不稳定团粒指数,较化肥更有利于土壤团聚体的组成与稳定性^[14]。本研究发现,施用牛粪增加了滩涂土壤 >

18.13 cm ,均显著高于对照。施用一定量的牛粪增加了黑麦草幼苗分蘖数(图6)。未施牛粪的对照处理黑麦草幼苗平均分蘖数仅为 1.73,施用牛粪各处理(30 、 75 、 150 、 300 t/hm^2)黑麦草幼苗平均分蘖数分别为 1.47、2.28、2.42、3.95,当牛粪用量达 300 t/hm^2 时显著高于对照。

2.4.3 牛粪对黑麦草幼苗根系生长的影响 施用牛粪改良滩涂土壤促进了所种植物黑麦草根系的生长(图7)。随牛粪施用量的增加,黑麦草根系总根长、平均直径、根表面积、根体积均呈逐渐上升趋势,但各处理总根长差异不明显未施牛粪的对照黑麦草根系平均直径为 0.369 mm ,施用牛粪各处理(30 、 75 、 150 、 300 t/hm^2)根系平均直径分别为 0.426 、 0.435 、 0.447 、 0.517 mm ,当牛粪用量达 150 t/hm^2 时显著高于对照。未施牛粪的对照黑麦草根系表面

0.25 mm 水稳性团聚体的数量,且土壤有机碳、氮、磷养分均随牛粪施用量的增加呈上升趋势。滩涂土壤水稳性团聚体数量的增加,可能是由于牛粪施入而增加的有机碳、总氮提高了土壤大团聚体的稳定性,因为 $0.25 \sim 0.5 \text{ mm}$ 粒级的土壤水稳性团聚体中的有机碳含量以及 $0.1 \sim 0.25 \text{ mm}$ 粒级的土壤水稳性团聚体中的总氮含量对团聚体的稳定性起着主导作用^[13]。前人在石灰性土壤上的研究同样发现,施用牛粪增加了土壤有机质和全量、速效养分含量^[15]。姜世成等人研究表明,牛粪施用于牧场草地能够提高土壤水分、有机质、全氮、磷的含量,并降低土壤 pH 值,从而改善草地土壤理化性质^[16]。本研究证实了施用牛粪降低了滩涂土壤 pH 和表层土壤盐分。滩涂表土的高盐分主要是由于下层盐分随毛管水上升至表层积聚^[17],因此切断土壤毛管孔隙,

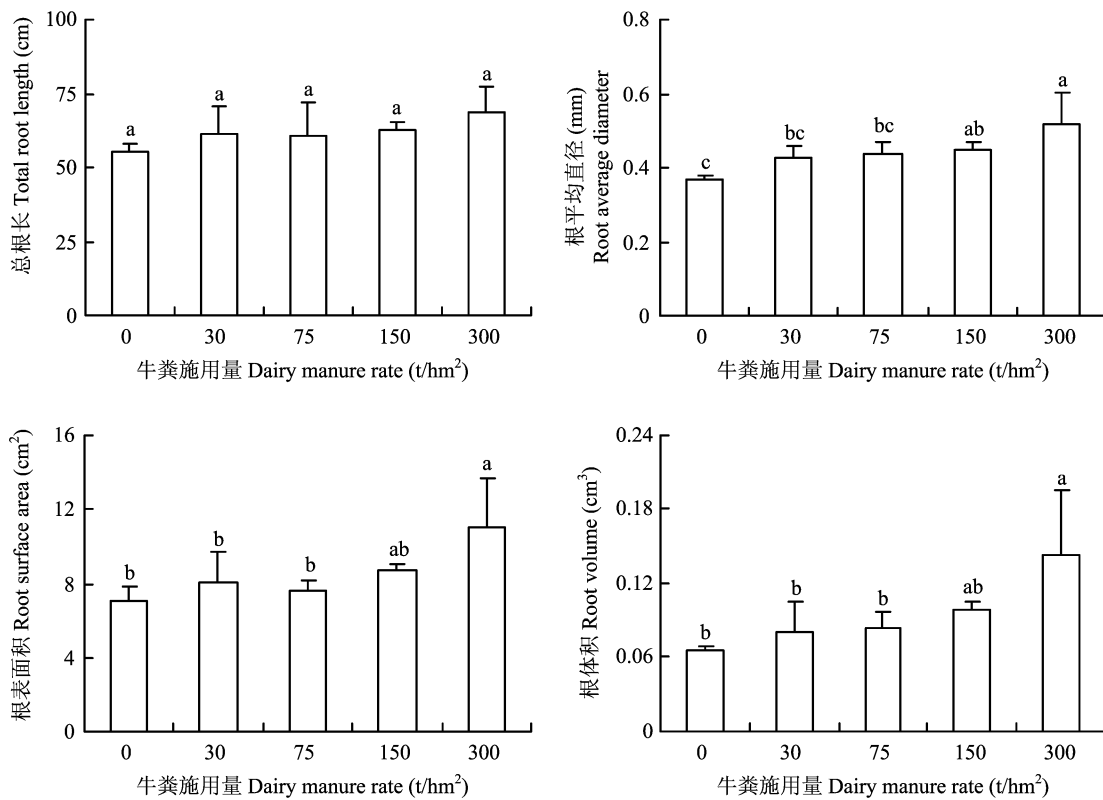


图7 施用牛粪对黑麦草总根长、平均直径、根表面积和根体积的影响

Fig.7 Effect of dairy manure addition on root length, root average diameter, root surface area and root volume of ryegrass in mudflat

[注(Note): 柱上不同字母表示不同处理间差异达到5%显著水平 Different letters above the bars indicate significant difference at the 5% level.]

增加非毛管孔隙可促进盐分随水下渗,减少盐分通过毛管水上移^[18]。研究表明,土壤盐分含量与有机质含量呈负相关关系^[18]。本试验中由于牛粪增加了土壤有机碳含量,从而增加土壤团聚体数量,而团聚体的增加可加大非毛管孔隙的数量^[19-21],从而降低了滩涂土壤的返盐能力。对各处理滩涂土壤盐分含量与0—10 cm 土层 >0.25 mm 水稳性团聚体数量进行相关性分析表明,滩涂土壤盐分含量与土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体数量呈负相关关系,模拟方程式为 $y = 56.354x^{-1.025}$ ($R^2 = 0.6732$, $n = 5$),当滩涂土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体在 3.64% ~ 5.92% 范围内时,每增加 1 个百分点的 >0.25 mm 水稳性团聚体,土壤含盐量可降低 33.0%。

牛粪对滩涂土壤初始肥力性状的改善为植物的生长提供了良好的生长环境。本试验证实,施用牛粪改良滩涂土壤促进了初期所种绿肥植物黑麦草地上部及根系的生长,增加了绿肥生物量的累积。姜世成等人的研究发现将牛粪施入草地能显著促进草地牧草植株的生长,提高牧草百株干重以及牧草的株高^[16]。何余湧等研究发现,施用牛粪能极显著地提高矮象草的茎和叶的干物质产量,且增加牛粪施用量

可提高矮象草的产草量和营养物质含量等^[22]。前人研究还发现,施用牛粪可以促进大豆^[23]、黄瓜^[24]、番茄^[25]等蔬菜植物的生长,并促进其产量的提高。在本试验条件下,施用牛粪促进了绿肥植物黑麦草根系的生长,增加了其株高及分蘖,进而增加了绿肥植物黑麦草的生物量。牛粪可作为滩涂土壤改良的“原始肥力驱动剂”,一方面,将牛粪进行资源化利用,减少了牛粪对环境的污染;另一方面,为滩涂土壤快速改良提供了一条新的途径。该研究对牛粪的资源化利用,滩涂土壤快速改良等提供科学依据和理论指导,具有重要的理论意义和实际应用价值。

参考文献:

- [1] Yu B H, Lu C H. Change of cultivated land and its implications on food security in China [J]. Chinese Geographical Science, 2006, 16(4): 299-305.
- [2] 孙书贤. 关于围海造地管理对策的探讨 [J]. 海洋开发与管理, 2004, 6: 21-23.
Sun S X. A discussion on management of coastal reclamation [J]. Ocean Development and Management, 2004, 6: 21-23.
- [3] Jones S B, Robbins C W, Hansen C L. Sodic soil reclamation using cottage cheese (acid) whey [J]. Arid Soil Research and Rehabilitation, 1993, 7(1): 51-61.

- [4] 赵秀芳, 杨劲松, 姚荣江. 苏北典型滩涂区土壤盐分动态与水平衡要素之间的关系[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 52-57.
Zhao X F, Yang J S, Yao R J. Relationship between soil salt dynamics and factors of water balance in the typical coastal area of northern Jiangsu province[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(3): 52-57.
- [5] Bai Y C, Tao T Y, Gu C H, *et al.* Mudflat soil amendment by sewage sludge: Soil physicochemical properties, perennial ryegrass growth, and mental uptake[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2013, 59(6): 942-952.
- [6] 柏彦超, 汪莉, 陶天云, 等. 施用生活污水泥改良滩涂土壤理化性状的探讨[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 1019-1025.
Bai Y C, Wang L, Tao T Y, *et al.* Effect of the amendment of sewage sludge on physico-chemical properties of tidal flat soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(4): 1019-1025.
- [7] 姚荣江, 杨劲松, 陈小兵, 等. 苏北海涂围垦区耕层土壤养分分级及其模糊综合评价[J]. 中国土壤与肥料, 2009, (4): 16-20.
Yao R J, Yang J S, Chen X B, *et al.* Classification and fuzzy synthetic evaluation of soil nutrient at plough horizon in coastal region of north Jiangsu province[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2009, (4): 16-20.
- [8] 单秀枝, 魏由庆, 严慧峻, 等. 土壤有机质含量对土壤水动力学参数的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(1): 1-9.
Shan X Z, Wei Y Q, Yan H J, *et al.* Influence of organic matter content on soil hydrodynamic parameter[J]. Acta Pedologica Sinica, 1998, 35(1): 1-9.
- [9] 孟京辉, 陆元昌, 刘刚, 王懿祥. 不同演替阶段的热带天然林土壤化学性质对比[J]. 林业科学研究, 2010, 23(5): 791-795.
Meng J H, Lu Y C, Liu G, Wang Y X. Comparison study on soil chemical characteristics in tropical natural forest in different succession stages[J]. Forest Research, 2010, 23(5): 791-795.
- [10] 王利民, 陈金林, 梁珍海, 等. 黄麻秸秆及有机肥对滨海盐土生物性质的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2010, 34(1): 39-42.
Wang L M, Chen J L, Liang Z H, *et al.* Effect of jute straw and organic fertilizer on the biological properties of the coastal saline soil[J]. Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition), 2010, 34(1): 39-42.
- [11] 胡天印, 陈玲, 胡玉敏, 等. 奶牛粪便综合利用的技术研究[J]. 宁波大学学报(理工版), 2004, 17(3): 357-360.
Hu T Y, Chen L, Hu Y M, *et al.* Study on the technology of comprehensive use of excrement of cows[J]. Journal of Ningbo University(NSEE), 2004, 17(3): 357-360.
- [12] 鲍士旦. 土壤农业化学分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Soil and agro-chemistry analysis(3rd Edition)[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [13] Meng Q F, Sun Y T, Zhao J, *et al.* Distribution of carbon and nitrogen in water-stable aggregates and soil stability under long-term manure application in solonchic soils of the Songnen plain, northeast China[J]. Journal of Soils and Sediments, 2014, 14(6): 1041-1049.
- [14] 史振鑫, 吴景贵. 不同处理牛粪对黑土团聚体组成与稳定性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013, 4: 10-15.
Shi Z X, Wu J G. Composition and stability of the aggregates in black soil applied with different cattle manures[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2013, 4: 10-15.
- [15] Zhao Y C, Yan Z B, Qin J H, Xiao Z W. Effects of long-term cattle manure application on soil properties and soil heavy metals in corn seed production in Northwest China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2014, 21(12): 7586-7595.
- [16] 姜世成, 周道玮. 牛粪堆积对草地影响的研究[J]. 草业学报, 2006, 15(4): 30-35.
Jiang S C, Zhou D W. The impact of cattle dung deposition on grasslands in the Songnen grassland[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2006, 15(4): 30-35.
- [17] Jorenush M H., Sepaskhah A R. Modelling capillary rise and soil salinity for shallow saline water table under irrigated and non-irrigated conditions[J]. Agricultural Water Management, 2003, 61(2): 125-141.
- [18] 谢承陶, 李志杰, 章友生, 林治安. 有机质与土壤盐分的相关作用及其原理[J]. 土壤肥料, 1993, 1: 19-22.
Xie C T, Li Z J, Zhang Y S, Lin Z A. Principle of relation between organic matter and soil salinity[J]. Soil and Fertilizer, 1993, 1: 19-22.
- [19] Hamuda H, Ligetvari F. Impacts of municipal sewage sludge on dynamics of organic matter and biological activities in clay loam brown forest soil[J]. Journal of Residuals Science & Technology, 2011, 8(4): 143-149.
- [20] Sandoval-Estrada M, Celis-Hidalgo J, Stolpe-Lau N, Capulin-Grande J. Effect of sewage sludge and salmon wastes amendments on the structure of an entisol and alfisol in Chile[J]. Agrociencia, 2010, 44(5): 503-515.
- [21] Grosbellec C, Vidal-Beaudet L, Caubel V, Charpentier S. Improvement of soil structure formation by degradation of coarse organic matter[J]. Geoderma, 2011, 162(1-2): 27-38.
- [22] 何余湧, 石庆华, 谢国强. 不同牛粪施用量对矮象草产草量营养物质含量及干物质降解率的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2143-2148.
He Y Y, Shi Q H, Xie G Q. Study on the effect of different application rate of beef cattle feces on yields and nutrients level of dwarf elephant grass and on the degradation rate of dry matter[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(7): 2143-2148.
- [23] 郭立月, 刘雪梅, 战丽杰, 等. 不同方式处理牛粪对大豆生长和品质的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(18): 5738-5746.
Guo L Y, Liu X M, Zhan L J, *et al.* Cattle dung composted by different methods had different effects on the growth and quality of soybean[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(18): 5738-5746.
- [24] 李继蕊, 史庆华, 王秀峰, 等. 鸡粪-牛粪蚯蚓堆肥对黄瓜幼苗生长及产量的影响[J]. 中国蔬菜, 2013, 22: 52-58.
Li J L, Shi Q H, Wang X F, *et al.* Effects of vermicompost derived from chicken-cow mixed manure on cucumber seedling growth and yield[J]. China Vegetables, 2013, 22: 52-58.
- [25] 赵海亮, 王玉萍, 邹志荣, 等. 牛粪与菇渣配合施用对番茄沙化栽培基质的改良效果[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(7): 189-194.
Zhao H L, Wang Y P, Zou Z R, *et al.* Effects of combined application of cow manure and mushroom residue on the improvement of substrate for tomato sandy culture[J]. Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition), 2013, 41(7): 189-194.